

(19)



(11)

EP 3 825 217 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
26.05.2021 Patentblatt 2021/21

(51) Int Cl.:
B62M 6/45^(2010.01)

(21) Anmeldenummer: **20214706.2**

(22) Anmeldetag: **31.03.2017**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(71) Anmelder: **Robert Bosch GmbH
70442 Stuttgart (DE)**

(72) Erfinder: **Dasbach, Gregor
72766 Reutlingen (DE)**

(30) Priorität: **30.05.2016 DE 102016209275**

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en)
nach Art. 76 EPÜ:
17715113.1 / 3 464 044

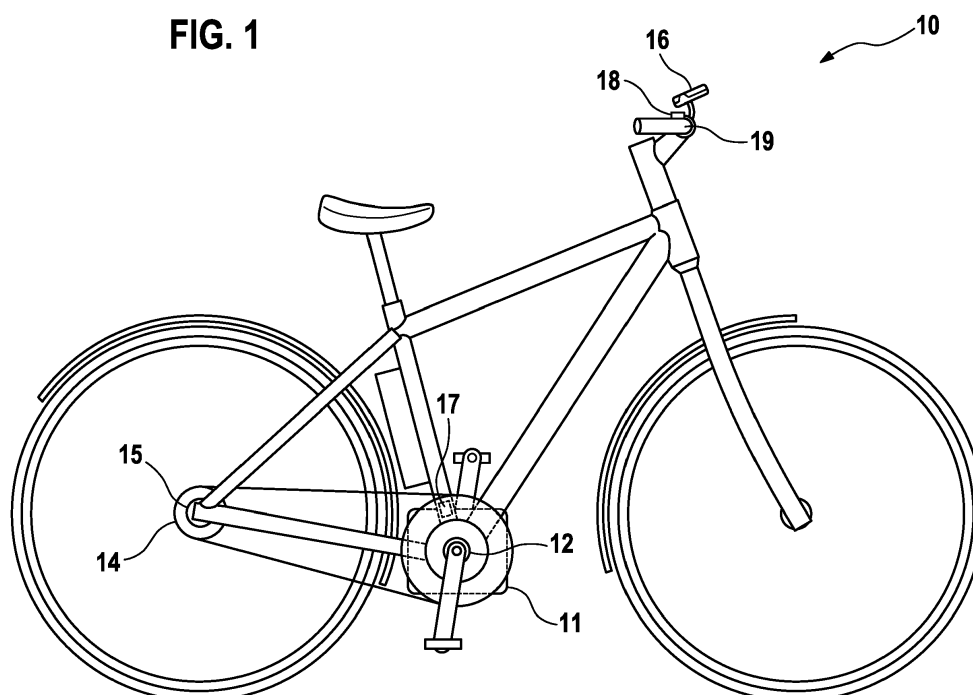
Bemerkungen:

Diese Anmeldung ist am 16.12.2020 als
Teilanmeldung zu der unter INID-Code 62 erwähnten
Anmeldung eingereicht worden.

(54) **STEUERUNGSVERFAHREN UND VORRICHTUNGEN ZUR STEUERUNG DES
ELEKTROMOTORS EINES ELEKTROFAHRRADS**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Steuerungsverfahren zur Steuerung des Elektromotors eines Elektrofahrrads in Abhängigkeit eines eingelegten Übersetzungsverhältnisses einer Gangschaltung und ein Steuergerät, welches das Steuerungsverfahren ausführt, sowie ein Elektrofahrrad mit dem Steuergerät. Das Steuerungsverfahren für einen Elektromotor eines Elektrofahrrads umfasst wenigstens eine Erfassung eines Tretdrehmoments des Radfahrers und eine Erfassung

des eingelegten Übersetzungsverhältnisses der Gangschaltung. Außerdem steuert das Steuerungsverfahren den Elektromotor für den Antrieb des Elektrofahrrads in Abhängigkeit des erfassten Tretdrehmoments und des erfassten Übersetzungsverhältnisses zur Erzeugung eines Drehmoments des Elektromotors an. Dadurch wird der Radfahrer beim Antrieb des Elektrofahrrads in Abhängigkeit des eingelegten Übersetzungsverhältnisses durch den Elektromotor unterstützt.

FIG. 1**EP 3 825 217 A1**

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Steuerungsverfahren zur Steuerung des Elektromotors eines Elektrofahrrads und ein Steuergerät, welches das Steuerungsverfahren ausführt, sowie ein Elektrofahrrad mit dem Steuergerät.

Stand der Technik

[0002] In der Schrift DE 10 2010 028 658 A1 ist ein Elektrofahrrad beschrieben, wobei der Elektromotor ein Drehmoment zum Antrieb des Elektrofahrrads erzeugt. Die Steuerung des Motordrehmoments erfolgt in dieser Schrift in Abhängigkeit des Tretdrehmomentes des Radfahrers. Außerdem ist eine Schaltung einer elektronisch steuerbaren Gangschaltung des Elektrofahrrades in Abhängigkeit wenigstens eines Ist-Betriebsparameters offenbart. Der Ist-Betriebsparameter kann beispielsweise das Tretdrehmoment oder eine Trittfrequenz des Radfahrers umfassen.

Offenbarung der Erfindung

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Steuerungsverfahren zur Steuerung des Elektromotors eines Elektrofahrrads in Abhängigkeit eines eingelegten Übersetzungsverhältnisses einer Gangschaltung und ein Steuergerät, welches das Steuerungsverfahren ausführt, sowie ein Elektrofahrrad mit dem Steuergerät.

[0004] Das erfindungsgemäße Steuerungsverfahren umfasst wenigstens eine Erfassung eines Tretdrehmoments des Radfahrers und eine Erfassung des eingelegten Übersetzungsverhältnisses der Gangschaltung. Durch eine Steuerung des Elektromotors in Abhängigkeit des erfassten Tretdrehmomentes und des erfassten Übersetzungsverhältnisses wird ein Drehmoment für den Antrieb des Elektrofahrrads erzeugt. Dadurch wird für den Radfahrer eine angenehme Motorsteuerung beim Fahren realisiert.

[0005] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist das Steuerungsverfahren einen Vergleich des erfassten Übersetzungsverhältnisses mit einem unmittelbar vorher erfassten Übersetzungsverhältnis der Gangschaltung auf. Beim Erkennen einer Änderung des Übersetzungsverhältnisses erfolgt die Steuerung des Motordrehmoments. Das Motordrehmoment wird dabei zur Realisierung einer gleichbleibenden Gesamtleistung des Elektrofahrrads unter Annahme eines gleichbleibenden Tretdrehmoments des Radfahrers gesteigert, wenn das Übersetzungsverhältnis erhöht wird. Das Motordrehmoment wird gesenkt, wenn das Übersetzungsverhältnis beim Schalten reduziert wird. Das Tretdrehmoment des Radfahrers kann demnach beim Schalten konstant bleiben. Die bevorzugte Ausgestaltung weist den Vorteil auf, dass ein sehr komfortables Fahrgefühl beim Schalten entsteht.

[0006] Vorzugsweise umfasst das Steuerungsverfahren eine Erfassung einer aktuellen Trittfrequenz des Radfahrers. Die Steuerung des Motordrehmoments wird zusätzlich in Abhängigkeit der erfassten Trittfrequenz durchgeführt. Dadurch kann die Steuerung des Motordrehmoments an die Trittfrequenz des Radfahrers angepasst werden. Das Produkt aus dem Tretdrehmoment und der Trittfrequenz des Radfahrers repräsentiert außerdem die Leistung des Radfahrers. Die Steuerung des Motordrehmoments kann in dieser Ausgestaltung demnach in Abhängigkeit der Leistung des Radfahrers erfolgen. Dies weist den Vorteil einer für den Radfahrer angenehmeren Steuerung des Motordrehmoments auf.

[0007] In einer weiterführenden Ausgestaltung der Erfindung erfolgt eine Steuerung des Motordrehmoments nach einem Vergleich der erfassten Trittfrequenz mit einem Schwellenwert. Es sind insbesondere ein erster Schwellenwert bei einer niedrigen Trittfrequenz und ein zweiter Schwellenwert bei einer hohen Trittfrequenz vorgesehen. Der erste Schwellenwert repräsentiert ein bevorstehendes Schalten der Gangschaltung in ein kleineres Übersetzungsverhältnis. Beim Erreichen oder Überschreiten des ersten Schwellenwerts wird das Motordrehmoment reduziert. Der zweite Schwellenwert repräsentiert ein bevorstehendes Schalten der Gangschaltung in ein größeres Übersetzungsverhältnis. Beim Erreichen oder Überschreiten des zweiten Schwellenwerts wird das Motordrehmoment erhöht. Durch den Vergleich mit dem ersten Schwellenwert und dem zweiten Schwellenwert der Trittfrequenz wird demnach eine bevorstehende Schaltung des Übersetzungsverhältnisses der Gangschaltung erkannt. Durch die Anpassung des Motordrehmoments vor der Schaltung des Übersetzungsverhältnisses können Drehmomentsprünge des Elektromotors beim Schalten minimiert werden. Gleichzeitig wird durch die Steuerung des Motordrehmoments ein Schalten der Gangschaltung noch wahrscheinlicher. Dadurch resultiert eine auf das Fahrverhalten des Radfahrers abgestimmte Steuerung des Motordrehmoments beim Schalten.

[0008] Vorzugsweise erfolgt die Steuerung des Motordrehmoments stetig. Dadurch werden Sprünge des Motordrehmoments vermieden, wodurch vorteilhafterweise eine angenehme Kraftunterstützung für den Radfahrer resultiert.

[0009] In einer Weiterbildung der Erfindung erfolgt ein Vergleich der erfassten Trittfrequenz mit mindestens einem weiteren Schwellenwert, wobei insbesondere ein dritter Schwellenwert und ein vierter Schwellenwert vorgesehen sind. Beim Erreichen oder Überschreiten des dritten Schwellenwerts wird eine Schaltung einer elektronisch steuerbaren Gangschaltung in ein niedrigeres Übersetzungsverhältnis durchgeführt. Beim Erreichen oder Überschreiten des vierten Schwellenwerts erfolgt eine Schaltung der elektronisch steuerbaren Gangschaltung in ein höheres Übersetzungsverhältnis. Durch die automatisierte Schaltung der Gangschaltung kann der beim Schalten typischerweise auftretende

Drehmomentsprung minimiert und der Zeitschaltpunkt optimiert werden. Es entsteht ein sehr komfortables Fahrgefühl.

[0010] Vorzugsweise erfolgt die Schaltung der elektronisch steuerbaren Gangschaltung nach der Steuerung des Drehmoments des Elektromotors. Dadurch erfolgt eine Anpassung des Drehmoments des Elektromotors vor dem Schalten der Gangschaltung, wodurch der Drehmomentsprung beim Schalten minimiert und eine mit dem Fahrverhalten abgestimmte Motorsteuerung realisiert wird.

[0011] Das erfindungsgemäße Steuergerät ist dazu eingerichtet das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen. Das Steuergerät weist wenigstens eine Recheneinheit auf. Diese Recheneinheit erfasst eine das Tretdrehmoment des Radfahrers repräsentierende Größe. Außerdem wird eine das eingelegte Übersetzungsverhältnis der Gangschaltung repräsentierende Größe erfasst. Die Recheneinheit erzeugt ein Steuersignal für den Elektromotor in Abhängigkeit des erfassten Tretdrehmomentes und des erfassten Übersetzungsverhältnisses. Ein erfindungsgemäßes Steuergerät steuert das Motordrehmoment für ein besonders angenehmes Fahrgefühl beim Schalten der Gangschaltung.

[0012] In einer weiteren Ausgestaltung erfasst die Recheneinheit eine die Trittfrequenz des Radfahrers repräsentierende Größe. Die Recheneinheit erzeugt das Steuersignal für den Elektromotor zusätzlich in Abhängigkeit der erfassten Trittfrequenz. Dies weist den Vorteil einer optimierten Anpassung der Drehmomentsteuerung an das Fahrverhalten des Radfahrers auf.

[0013] In einer bevorzugten Weiterbildung erzeugt die Recheneinheit des Steuergerätes ein weiteres Steuersignal für eine elektronisch steuerbare Gangschaltung in Abhängigkeit des erfassten Tretdrehmoments und/oder der erfassten Trittfrequenz. Dadurch entsteht der Vorteil, dass das Steuergerät die Schaltung der Gangschaltung übernimmt und der Radfahrer sich beispielsweise verstärkt auf den Verkehr konzentrieren kann.

[0014] Vorzugsweise erfolgt die Schaltung in ein anderes Übersetzungsverhältnis durch das weitere Steuersignal in Abhängigkeit der Steuerung des Motordrehmoments. Durch die Kopplung der Steuerung des Drehmoments und einem Schalten der Gangschaltung kann ein sehr stetiger und sanfter Drehmomentverlauf für den Radfahrer realisiert werden.

[0015] Das erfindungsgemäße Elektrofahrrad umfasst wenigstens einen Elektromotor zur Kraftunterstützung des Radfahrers beim Antrieb des Elektrofahrrads. Außerdem sind ein erster Sensor zum Erfassen eines Tretdrehmomentes des Radfahrers und ein zweiter Sensor zum Erfassen eines eingelegten Übersetzungsverhältnisses der Gangschaltung am Elektrofahrrad angeordnet. Das Elektrofahrrad weist ein Steuergerät zur Steuerung des Elektromotors in Abhängigkeit des erfassten Tretdrehmomentes und des erfassten Übersetzungsverhältnisses auf. Das erfindungsgemäße Elektrofahrrad realisiert vorteilhafterweise ein komfortables Fahrgefühl beim Schalten des Übersetzungsverhältnisses.

[0016] In einer alternativen Ausgestaltung weist das Elektrofahrrad eine elektronisch steuerbare Gangschaltung auf. Das Steuergerät steuert in dieser Ausgestaltung die elektronische Gangschaltung in Abhängigkeit des Tretdrehmomentes und/oder der Trittfrequenz an. Die automatische Schaltung des Übersetzungsverhältnisses erlaubt es dem Radfahrer sich besser auf das Radfahren bzw. den Verkehr konzentrieren zu können, wodurch ein sichereres Radfahren und ein komfortableres Fahrgefühl entstehen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0017] Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsformen und beigefügter Zeichnungen erläutert.

Figur 1: Elektrofahrrad zur erfindungsgemäßen Durchführung des Steuerungsverfahrens

Figur 2a: Ablaufdiagramm zum erfindungsgemäßen Steuerungsverfahren der Ansteuerung eines Elektromotors

Figur 2b: Ablaufdiagramm zum Steuerungsverfahren mit Ansteuerung bei Änderung eines Übersetzungsverhältnisses der Gangschaltung

Figur 2c: Ablaufdiagramm zum Steuerungsverfahren mit Schaltung einer elektronisch steuerbaren Gangschaltung

Figur 3: Steuergerät zur erfindungsgemäßen Durchführung des Steuerungsverfahrens

Ausführungsbeispiele

[0018] In Figur 1 ist ein Elektrofahrrad 10 skizziert. Das Elektrofahrrad 10 weist einen Akkumulator und einen Elektromotor 11 auf. Der Elektromotor 11 kann als Mittelmotor an der Kurbelwelle ausgeführt oder alternativ auch in der Nabe des Vorder- oder Hinterrades angeordnet sein. Das Elektrofahrrad 10 weist außerdem eine Gangschaltung 14 zur Änderung des Übersetzungsverhältnisses auf, d.h. beispielsweise eine Naben- oder eine Kettenschaltung. Alternativ kann eine stufenlose Gangschaltung 14 vorgesehen sein. Die Schaltung der Gangschaltung 14 erfolgt bevorzugt mittels eines Schalthebels 18 am Lenker. Ein Steuergerät 16 steuert den Elektromotor 11 an. Das Steuergerät 16 kann, wie in

Figur 1 dargestellt, bevorzugt am Lenker 19 oder alternativ am Akkumulator oder am Elektromotor 11 angeordnet sein. Die Erfassung des Tretdrehmomentes M_{Fahrer} an der Kurbelwelle erfolgt bevorzugt durch einen ersten Sensor 12. Das eingelegte Übersetzungsverhältnis der Gangschaltung 14 wird zweckmäßigerweise durch einen zweiten Sensor 15 erfasst, welcher beispielsweise an der Gangschaltung 14 oder am Schalthebel 18 der Gangschaltung 14 angeordnet sein kann. Die Erfassung der Trittfrequenz K erfolgt mit einem optionalen, dritten Sensor 17 an bzw. in der Nähe der Kurbelwelle, der Kurbel oder den Pedalen.

[0019] Ketten- und Nabenschaltungen von Fahrrädern weisen meist diskrete Übersetzungsverhältnisse i auf, wobei die Stufung der Gänge abhängig von der Bauart der Gangschaltung und dem Hersteller ist. Beispielsweise liegt das Übersetzungsverhältnis einer Kettenschaltung mit einer 53/39-Kettenblatt-Kombination an der Kurbelwelle und einem Ritzelpaket mit 11 bis 21 Zähnen an der Hinterradnabe in diskreten Stufen zwischen 1,86 bis 4,82. Nabenschaltungen mit 3- bzw. 8-Gängen und stufenlose Gangschaltungen weisen ähnliche Übersetzungsverhältnisse wie die beschriebene Kettenschaltung auf. Die Räder eines Fahrrades drehen sich bei einem niedrigen Übersetzungsverhältnis von $i = 2$ demnach beispielsweise mit der doppelten Drehzahl der Trittfrequenz des Radfahrers.

[0020] Die Geschwindigkeit v eines Fahrrades lässt sich allgemein als Produkt aus dem eingelegten Übersetzungsverhältnis i der Gangschaltung 14, der Trittfrequenz K und dem äußeren Radumfang U ableiten. Dies gilt allgemein solange das Fahrrad aktiv angetrieben wird, d.h. kein Leerlauf oder ein Bremsen vorliegt. Beispielsweise wird durch das Treten eines Radfahrers bei einem Übersetzungsverhältnis von $i = 2$ mit einer Trittfrequenz von $K = 80$ rpm und einem äußeren Radumfang $U = \text{ca. } 2,1 \text{ m}$ (28" Zoll Rennradreifen) eine Geschwindigkeit $v = \text{ca. } 20 \text{ km/h}$ erreicht, siehe auch Gleichung (2).

$$v = K \cdot i \cdot U \quad (2)$$

[0021] Die Tretleistung P_{Fahrer} eines Radfahrers kann zum Zeitpunkt des Schaltens eines Übersetzungsverhältnisses näherungsweise gleichbleibend angenommen werden. Sie lässt sich als Produkt der Trittfrequenz K und des Tretdrehmomentes M_{Fahrer} des Radfahrers beschreiben, siehe Gleichung (3).

$$P_{\text{Fahrer}} = M_{\text{Fahrer}} \cdot K \quad (3)$$

[0022] Um beispielsweise bei einer Steigung auf der Fahrstrecke das Tretdrehmoment M_{Fahrer} zu reduzieren, schaltet der Radfahrer in ein niedrigeres Übersetzungsverhältnis i einer Gangschaltung 14, wobei sich gleichzeitig die Trittfrequenz K erhöht. Da beim Schalten nicht gebremst wird, bleibt die Geschwindigkeit v des Fahrrads zum unmittelbaren Zeitpunkt des Schalten gleich ($v_1 = v_2$). Die Trittfrequenz K ändert sich in Abhängigkeit des Übersetzungsverhältnisses i nach Gleichung (4) diskret, d.h. beispielsweise in Abhängigkeit der Stufung der Gangschaltung.

$$v_2 = v_1 \Rightarrow K_2 = K_1 \cdot \frac{i_1}{i_2} \quad (4)$$

[0023] Bei gleichbleibender Tretleistung P_{Fahrer} zum Zeitpunkt des Schaltens eines Übersetzungsverhältnisses folgt eine Abhängigkeit des Tretdrehmomentes $M_{\text{Fahrer},2}$ von den Übersetzungsverhältnissen i_1 und i_2 sowie dem Tretdrehmoment $M_{\text{Fahrer},1}$ nach Gleichung (5).

$$M_{\text{Fahrer},2} = M_{\text{Fahrer},1} \cdot \frac{i_2}{i_1} \quad (5)$$

[0024] Die Steuerung des Elektromotors 11 von einem Elektrofahrrad erfolgt typischerweise im Stand der Technik in Abhängigkeit vom Tretdrehmoment M_{Fahrer} oder der Trittfrequenz K des Radfahrers. Beispielsweise erfolgt die Ansteuerung in linearer Abhängigkeit des Tretdrehmomentes M_{Fahrer} und eines Assistenzverhältnisses α . Das Assistenzverhältnis α ist der Quotient aus dem Drehmoment M_{Motor} des Elektromotors und einem Tretdrehmoment M_{Fahrer} des Radfahrers, siehe Gleichung (6).

$$\alpha = \frac{M_{\text{Motor}}}{M_{\text{Fahrer}}} \quad (6)$$

[0025] Beim Schalten eines Übersetzungsverhältnisses von i_1 auf i_2 ändern sich das Tretmoment M_{Fahrer} folglich diskret (siehe Gleichung (5)). Demnach ändert sich durch eine Ansteuerung mit einem konstantem Assistenzverhältnis a beim Schalten das Drehmoment M_{Motor} des Elektromotors 11 ebenfalls diskret.

[0026] Bei einem Elektrofahrrad 10 repräsentiert die Gesamtleistung $P_{\text{Elektrofahrrad}}$ die Summe aus der Tretleistung P_{Fahrer} des Radfahrers und der Motorleistung P_{Motor} , wobei die Motorleistung P_{Motor} als Produkt aus dem Drehmoment M_{Motor} des Elektromotors 11 und der Winkelgeschwindigkeit ω beschrieben werden kann. Die Winkelgeschwindigkeit ω entspricht für den Radfahrer der Trittfrequenz und es folgt Gleichung (7).

$$\begin{aligned} P_{\text{Elektrofahrrad}} &= P_{\text{Fahrer}} + P_{\text{Motor}} \\ &= M_{\text{Fahrer}} \cdot K + M_{\text{Motor}} \cdot \omega \end{aligned} \quad (7)$$

[0027] Die Winkelgeschwindigkeit ω des Elektromotors 11 und die Trittfrequenz K des Radfahrers sind bei einem Elektrofahrrad 10 mit Mittelmotor gekoppelt, da zwischen beiden ein festes Übersetzungsverhältnis c vorliegt. Deshalb folgt mittels algebraischer Vereinfachungen Gleichung (8).

$$P_{\text{Elektrofahrrad}} = M_{\text{Fahrer}} \cdot K \cdot (1 + \alpha \cdot c) \quad (8)$$

[0028] Die Gesamtleistung $P_{\text{Elektrofahrrad}}$ eines Elektrofahrrads mit Mittelmotor ist beim Schalten eines Übersetzungsverhältnisses mit einem konstanten Assistenzverhältnis a demnach ebenfalls konstant, weil das Produkt aus dem Tretmoment M_{Fahrer} des Radfahrers und der Trittfrequenz K beim Schalten der Gangschaltung, wie oben beschrieben, als konstant anzunehmen ist (siehe Gleichungen (3) und (8)).

[0029] In Figur 2a ist ein mögliches Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Steuerungsverfahrens 20 zur Steuerung des Elektromotors 11 eines Elektrofahrrads 10 dargestellt. In einem Schritt 21 wird ein Tretmoment M_{Fahrer} eines Radfahrers erfasst. In einem weiteren Schritt 22 wird das eingelegte Übersetzungsverhältnis der Gangschaltung 14 erfasst. In einem weiteren Schritt 26 wird der Elektromotor 11 in Abhängigkeit des erfassten Tretmomentes und des erfassten Übersetzungsverhältnisses angesteuert. Durch die Steuerung des Elektromotors 11 wird ein Drehmoment M_{Motor} zum Antrieb des Elektrofahrrads erzeugt. Das erfindungsgemäße Verfahren kann kontinuierlich oder wiederholt ablaufen.

[0030] Nach dem Schritt 22 kann in einem optionalen Schritt 24 die Trittfrequenz des Radfahrers erfasst werden. In dieser Ausführung wird der Elektromotor 11 im Schritt 26 zusätzlich in Abhängigkeit der erfassten Trittfrequenz angesteuert.

[0031] In dem alternativen Ablaufdiagramm in Figur 2b ist ein weiterer Schritt 23 zum Vergleich des erfassten Übersetzungsverhältnisses i_2 mit dem unmittelbar vorher erfassten Übersetzungsverhältnis i_1 dargestellt. Ist das aktuell erfasste Übersetzungsverhältnis i_2 gleich dem vorher erfassten Übersetzungsverhältnis i_1 , wird keine Änderung des Übersetzungsverhältnisses i erkannt und es erfolgt keine Anpassung des Motordrehmoments M_{Motor} . Die Anpassung des Motordrehmoments M_{Motor} im Schritt 26 erfolgt nur nach dem Erkennen eines veränderten Übersetzungsverhältnisses i . Das erfindungsgemäße Verfahren nach dem Ablaufdiagramm in Figur 2b kann kontinuierlich oder wiederholt ablaufen.

[0032] In einer Weiterbildung des Verfahrens nach dem Ablaufdiagramm in Figur 2b erfolgt die Anpassung des Motordrehmoments M_{Motor} im Schritt 26 zur Realisierung einer gleichbleibenden Gesamtleistung P des Elektrofahrrads 10 unter der Prämisse eines konstanten Tretmomentes M_{Fahrer} des Radfahrers. Die Gesamtleistung P des Elektrofahrrads 10 umfasst eine Summe der Motorleistung P_{Motor} und der Leistung P_{Fahrer} des Radfahrers. Die durch den Radfahrer ohne das Verfahren notwendige Anpassung des Tretmomentes M_{Fahrer} beim Schalten wird durch die Anpassung des Motordrehmoments M_{Motor} kompensiert. Aus der Annahme eines konstanten Tretmomentes M_{Fahrer} des Radfahrers beim Schalten folgt, dass in dieser Weiterbildung der Erfindung beim Schalten vom Radfahrer lediglich die Trittfrequenz K an das neue Übersetzungsverhältnis i_2 der Gangschaltung 14 angepasst wird. Die Steuerung des Motordrehmoments M_{Motor} erfolgt dabei in Abhängigkeit eines nicht konstanten Assistenzverhältnisses. Das Assistenzverhältnis a_2 nach dem Schalten ist nach Gleichung (7) abhängig vom eingelegten Übersetzungsverhältnis i_2 durch das Schalten und abhängig vom unmittelbar vorher eingelegten Übersetzungsverhältnis i_1 sowie vom unmittelbar vorher verwendeten Assistenzverhältnis a_1 . Demnach erfolgt in dieser Ausgestaltung der Erfindung im Schritt 26 nach dem Schalten des Übersetzungsverhältnis i_2 eine Änderung des Motordrehmoments M_{Motor} , wobei das Assistenzverhältnis a beim Schalten in ein höheres Übersetzungsverhältnis gesteigert und beim Schalten in ein niedrigeres Übersetzungsverhältnis reduziert wird.

$$\begin{aligned}
 M_{Fahrer,1} \cdot (1 + \alpha_1) \cdot K_1 &= M_{Fahrer,1} \cdot (1 + \alpha_2) \cdot K_2 \\
 \Rightarrow \alpha_2 &= (1 + \alpha_1) \cdot \frac{i_2}{i_1} - 1
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

[0033] Dies bedeutet beispielsweise, dass beim Schalten eines Übersetzungsverhältnisses von $i_1 = 2$ bei einem ursprünglichen Assistenzverhältnis von $a_1 = 1$ nach dem Schalten auf $i_2 = 2,5$ ein neues Assistenzverhältnis von $a_2 = 1,5$ resultiert. Das Drehmoment M_{Motor} des Elektromotors 11 wird in diesem Beispiel unmittelbar nach dem Schalten somit um 50 % erhöht. Die notwendige Trittfrequenz K erniedrigt sich entsprechend Gleichung (3) um 20 %. Der Radfahrer kann in diesem Beispiel, wie in der obigen Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben, das Trettdrehmoment M_{Fahrer} beim Schalten konstant halten.

[0034] Im Ablaufdiagramm in Figur 2c ist eine weitere besonders bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung dargestellt. In dieser Ausgestaltung wird vor der Steuerung des Motordrehmoments M_{Motor} ein Schritt 24 zur Erfassung der Trittfrequenz K durchgeführt. Außerdem wird in einem Schritt 25 nach der Erfassung der Trittfrequenz K und vor der Steuerung des Motordrehmoments M_{Motor} die Trittfrequenz K mit vier Schwellenwerten verglichen. Liegt die Trittfrequenz zwischen dem ersten Schwellenwert S_1 und dem zweiten Schwellenwert S_2 erfolgt keine Anpassung des Motordrehmoments M_{Motor} . Erreicht oder überschreitet die erfasste Trittfrequenz K den ersten Schwellenwert S_1 oder den zweiten Schwellenwert S_2 so erfolgt im Schritt 26 die Steuerung des Motordrehmoments M_{Motor} nach einem erfindungsgemäßen Verfahren, wobei diese Steuerung zusätzlich in Abhängigkeit der Trittfrequenz K erfolgen kann. Erreicht oder überschreitet die Trittfrequenz den dritten Schwellenwert S_3 oder den vierten Schwellenwert S_4 erfolgt im Schritt 26 die Steuerung des Motordrehmoments M_{Motor} und danach im Schritt 27 die Schaltung einer elektrisch steuerbaren Gangschaltung 14 in ein anderes Übersetzungsverhältnis i_2 . Das erfindungsgemäße Verfahren nach dem Ablaufdiagramm in Figur 2c kann kontinuierlich oder wiederholt ablaufen.

[0035] In Figur 3 ist das erfindungsgemäße Steuergerät 16 dargestellt. Das Steuergerät 16 weist wenigstens eine Recheneinheit 32 auf. Die Recheneinheit 32 erfasst eine das Trettdrehmoment M_{Fahrer} repräsentierende Größe und eine das eingelegte Übersetzungsverhältnis i repräsentierende Größe. Außerdem erzeugt die Recheneinheit 32 ein Steuersignal für den Elektromotor 11 zur Anpassung eines Motordrehmoments M_{Motor} . Das Steuergerät kann zum Erfassen von Größen eine Empfangseinheit 31 und zur Ausgabe des Sensorsignals eine Ausgabereinheit 33 aufweisen. Optional erfasst die Recheneinheit 32 zusätzlich eine die Trittfrequenz K repräsentierende Größe. Die erfassten Größen können beispielsweise Sensorgrößen des ersten Sensors 12, des zweiten Sensors 15 und/oder des dritten Sensors 17 darstellen.

Patentansprüche

1. Steuerungsverfahren für einen Elektromotor (11) eines Elektrofahrrads (10) wenigstens umfassend die Schritte

- Erfassung (21) eines Trettdrehmoments (M_{Fahrer}) des Radfahrers, und
- Erfassung (22) des eingelegten Übersetzungsverhältnisses (i) der Gangschaltung (14),

dadurch gekennzeichnet, dass

- eine Steuerung (26) des Elektromotors (11) in Abhängigkeit des erfassten Trettdrehmomentes (M_{Fahrer}) und des erfassten Übersetzungsverhältnisses (i) zur Erzeugung eines Drehmoments (M_{Motor}) für den Antrieb des Elektrofahrrads (10) erfolgt.

2. Steuerungsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- ein Vergleich (23) des erfassten Übersetzungsverhältnisses (i) mit einem unmittelbar vorher erfassten Übersetzungsverhältnis (ii) der Gangschaltung (14) durchgeführt wird, und

beim Erkennen einer Änderung des Übersetzungsverhältnisses

- die Steuerung (26) das Drehmoment (M_{Motor}) zur Realisierung einer gleichbleibenden Gesamtleistung ($P_{Elektrofahrrad}$) des Elektrofahrrads (10) zusätzlich in Abhängigkeit der Änderung des Übersetzungsverhältnisses erhöht oder reduziert.

3. Steuerungsverfahren nach einem der nach Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- eine Erfassung (24) einer aktuellen Trittfrequenz (K) des Radfahrers erfolgt, und
- die Steuerung (26) das Drehmoment (M_{Motor}) zusätzlich in Abhängigkeit der erfassten Trittfrequenz (K) steuert.

4. Steuerungsverfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- ein Vergleich (25) der erfassten Trittfrequenz (K) mit einem ersten Schwellenwert (S1) und einem zweiten Schwellenwert (S2) erfolgt, und
- beim Erreichen oder Überschreiten des ersten Schwellenwerts (S1) die Steuerung (26) das Drehmoment (M_{Motor}) des Elektromotors (11) reduziert, und
- beim Erreichen oder Überschreiten des zweiten Schwellenwerts (S2) die Steuerung (26) das Drehmoment (M_{Motor}) des Elektromotors (11) erhöht.

5. Steuerungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerung (26) das Drehmoment (M_{Motor}) stetig steuert.

6. Steuerungsverfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- ein Vergleich (25) der erfassten Trittfrequenz (K) mit einem dritten Schwellenwert (S3) und einem vierten Schwellenwert (S4) erfolgt, und
- beim Erreichen oder Überschreiten des dritten Schwellenwerts (S3) eine Schaltung (27) einer elektronisch steuerbaren Gangschaltung (14) in ein niedrigeres Übersetzungsverhältnis erfolgt, und
- beim Erreichen oder Überschreiten des vierten Schwellenwerts (S4) eine Schaltung (27) der elektronisch steuerbaren Gangschaltung (14) in ein höheres Übersetzungsverhältnis erfolgt.

7. Steuerungsverfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaltung (27) der Gangschaltung (14) nach der Steuerung (26) des Drehmoments (M_{Motor}) des Elektromotors (11) erfolgt.

8. Steuergerät (16), welches ein Steuerungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 ausführt, wobei das Steuergerät (16) wenigstens eine Recheneinheit (32) aufweist, welche

- eine das Tretmoment (M_{Fahrer}) des Radfahrers repräsentierende Größe erfasst, und
- eine das eingelegte Übersetzungsverhältnis (i) der Gangschaltung (14) repräsentierende Größe erfasst, und
- ein Steuersignal für den Elektromotor (11) in Abhängigkeit des erfassten Tretmomentes (M_{Fahrer}) und des erfassten Übersetzungsverhältnisses (i) erzeugt.

9. Steuergerät nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Recheneinheit (32)

- eine die Trittfrequenz (K) des Radfahrers repräsentierende Größe erfasst, und
- das Steuersignal für den Elektromotor (11) zusätzlich in Abhängigkeit der erfassten Trittfrequenz (K) erzeugt wird.

10. Steuergerät nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Recheneinheit (32) ein weiteres Steuersignal für eine elektronisch steuerbare Gangschaltung (14) in Abhängigkeit des erfassten Tretmomentes (M_{Fahrer}) und/oder der erfassten Trittfrequenz (K) erzeugt, wobei die Schaltung (27) in ein anderes Übersetzungsverhältnis (i_2) in Abhängigkeit der Steuerung (26) des Drehmoments (M_{Motor}) des Elektromotors (11) erfolgt.

11. Elektrofahrrad, wobei das Elektrofahrrad wenigstens folgende Komponenten umfasst

- einen Elektromotor (11) zum Antrieb des Elektrofahrrads (10), und
- einen ersten Sensor (12) zum Erfassen eines Tretmomentes (M_{Fahrer}) des Radfahrers, und
- einen zweiten Sensor (15) zum Erfassen eines eingelegten Übersetzungsverhältnisses (i) der Gangschaltung (14),

dadurch gekennzeichnet, dass

- ein Steuergerät (16) nach einem der Ansprüche 8 bis 10 zur Steuerung (26) des Elektromotors (11) in Abhängigkeit des erfassten Tretmomentes (M_{Fahrer}) und des erfassten Übersetzungsverhältnisses (i) angeordnet ist.

12. Elektrofahrrad nach Anspruch 11, umfassend eine elektronisch steuerbare Gangschaltung (14), wobei das Steuergerät (16) die elektronische Gangschaltung (14) in Abhängigkeit des Tretdrehmomentes (M_{Fahrer}) und/oder der Trittfrequenz (K) ansteuert.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

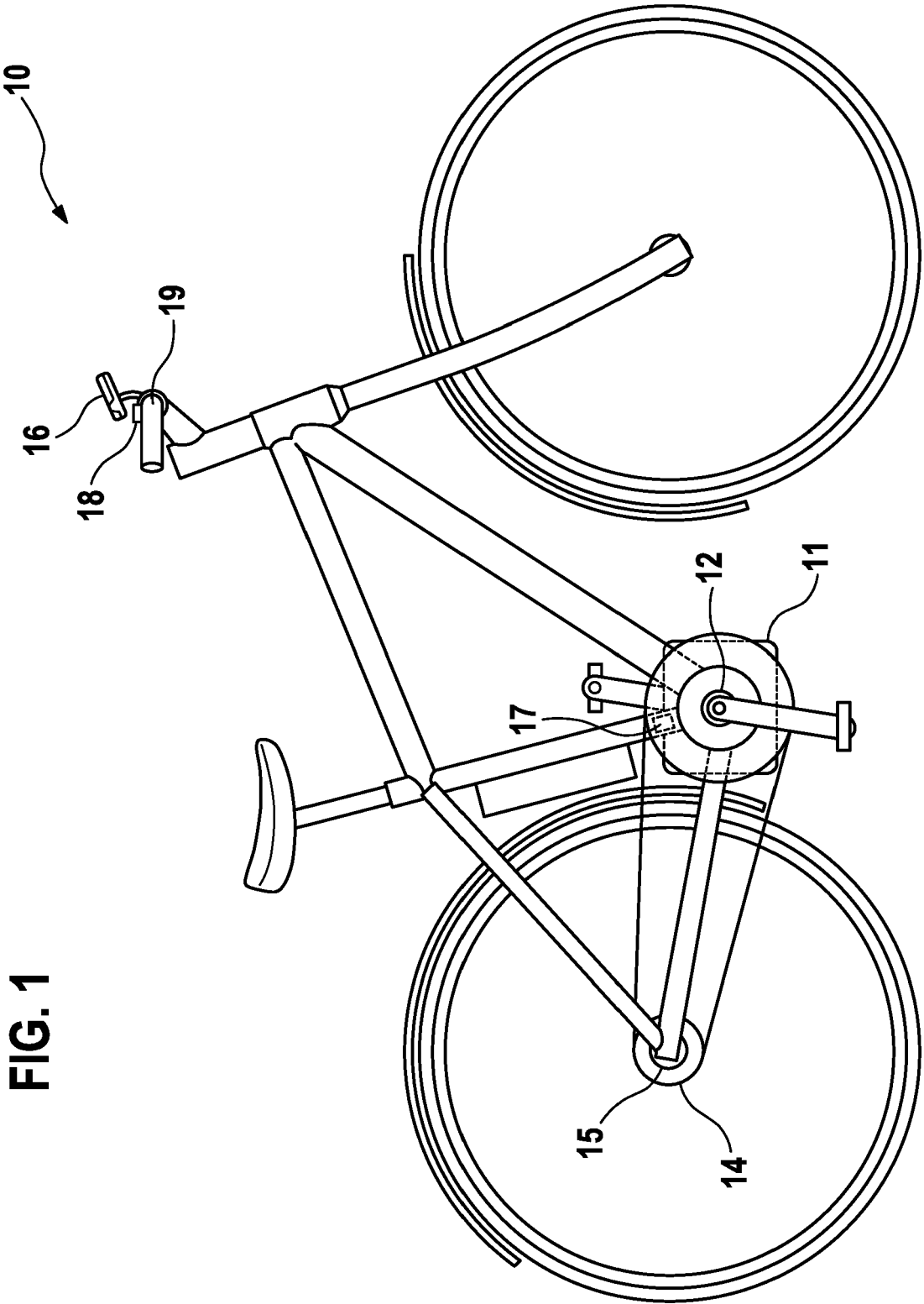


FIG. 1

FIG. 2b

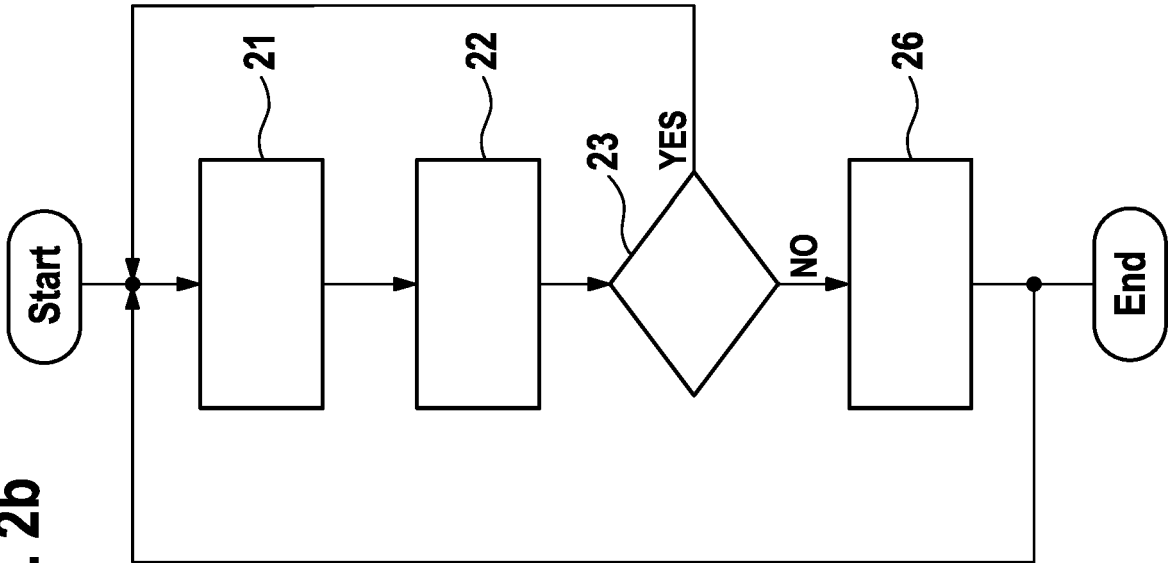


FIG. 2a

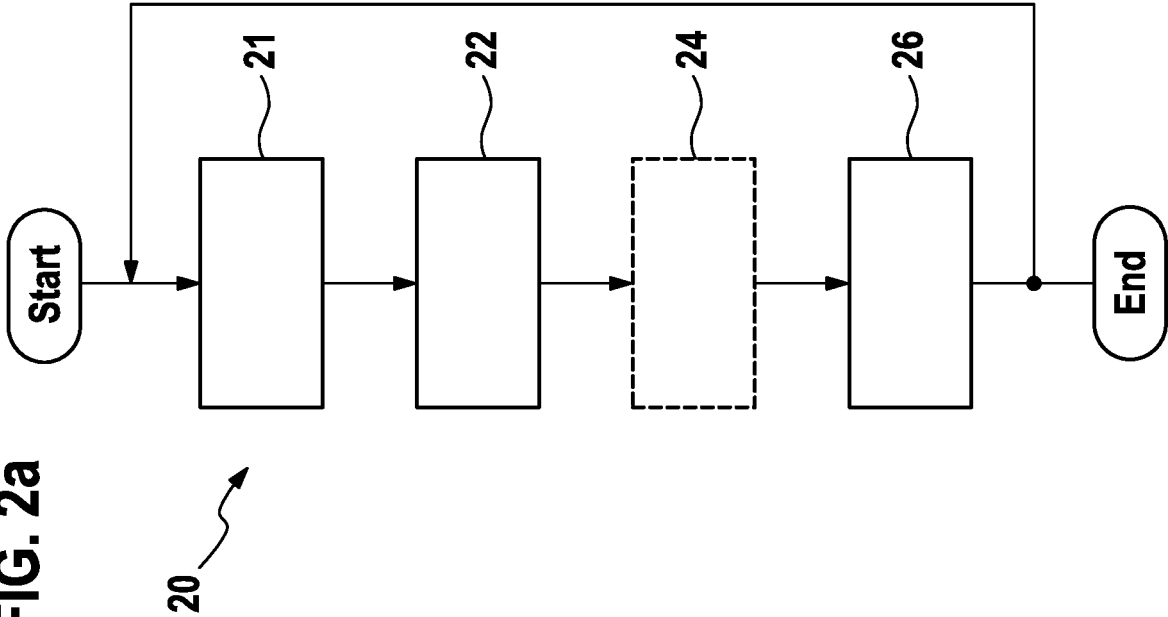


FIG. 2c

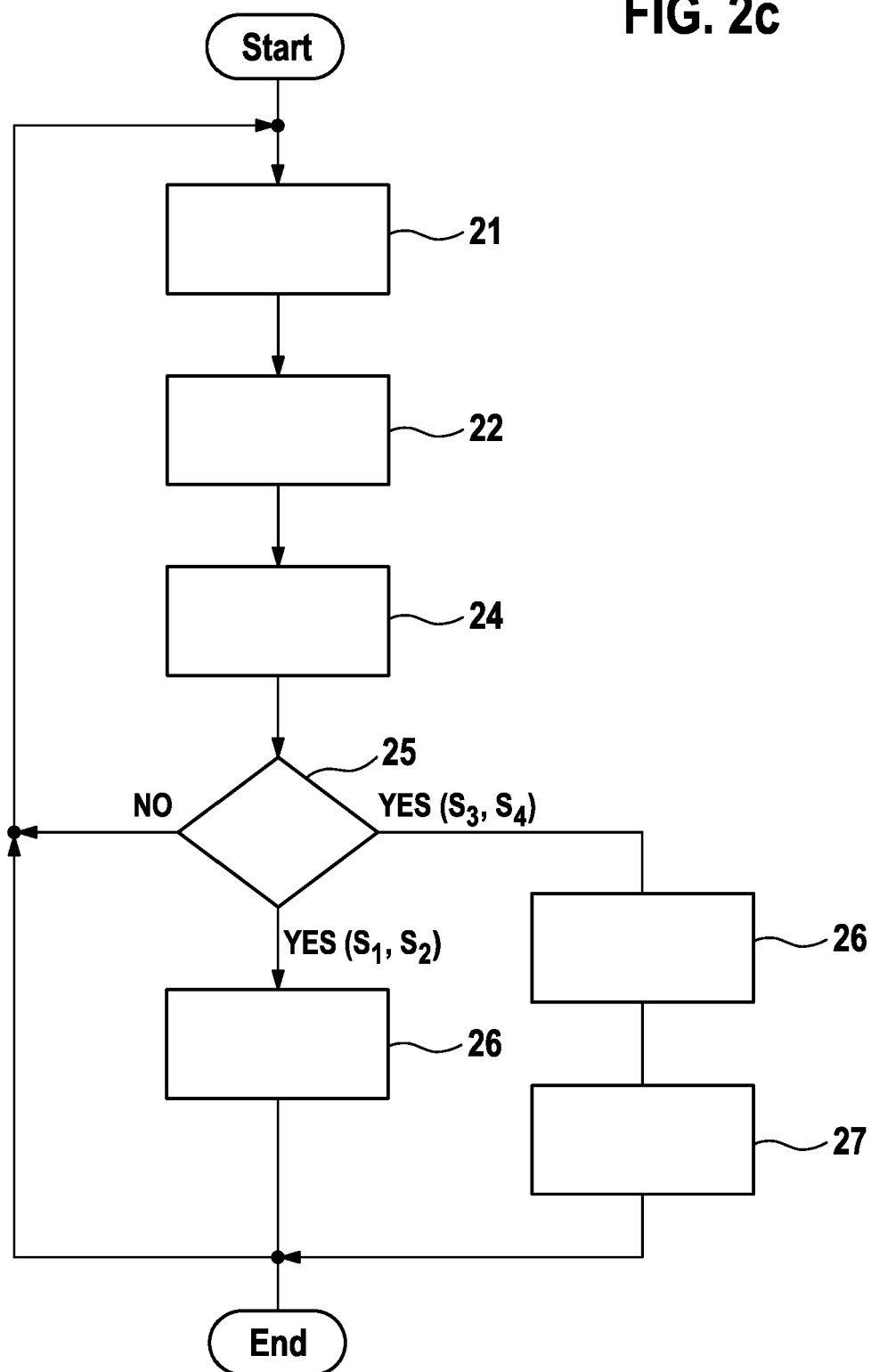
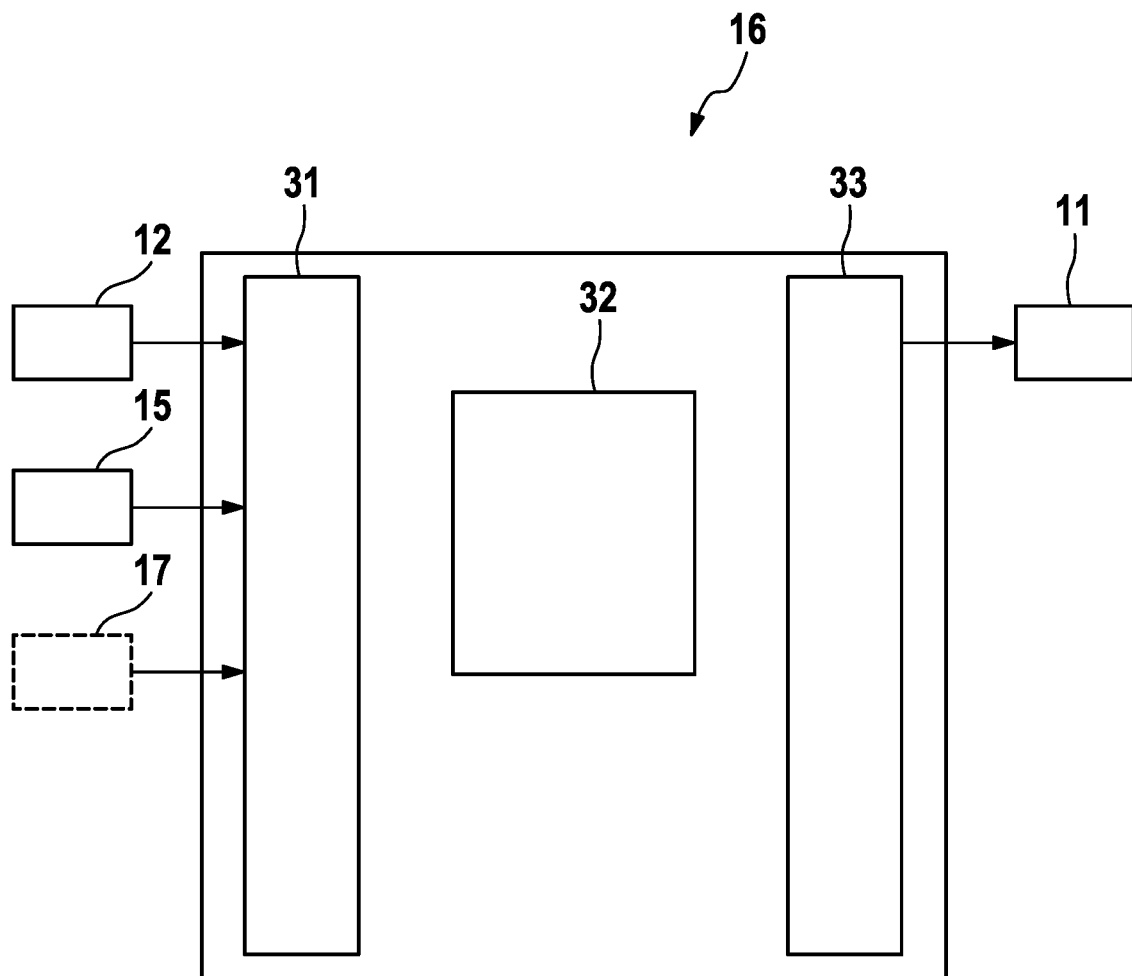


FIG. 3





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 21 4706

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 601 10 853 T2 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 17. November 2005 (2005-11-17) * Absatz [0006] - Absatz [0008]; Abbildungen * * Absatz [0013] Unterpunkt 2 *	1-3,8, 11,12	INV. B62M6/45
X	DE 10 2013 004886 A1 (SHIMANO KK [JP]) 10. Oktober 2013 (2013-10-10) * Zusammenfassung; Abbildungen * * Absatz [0007] * * Absatz [0011] * * Absatz [0013] *	1,3-5, 8-12	
X	EP 2 604 499 A1 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 19. Juni 2013 (2013-06-19) * Absatz [0037]; Abbildungen *	1,8	
X	DE 10 2012 107938 A1 (SHIMANO KK [JP]) 28. Februar 2013 (2013-02-28) * Zusammenfassung; Abbildungen * * Absatz [0050] - Absatz [0055] *	1,8	
X	EP 1 236 640 A2 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 4. September 2002 (2002-09-04) * Zusammenfassung; Abbildungen *	1,8	
X	EP 2 862 788 A1 (CONTI TEMIC MICROELECTRONIC [DE]) 22. April 2015 (2015-04-22) * Zusammenfassung; Abbildungen *	1,8	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 23. März 2021	Prüfer Wagner, Helmut
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 21 4706

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

23-03-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 60110853 T2	17-11-2005	AT 295801 T	15-06-2005
		CN 1311128 A	05-09-2001
		CN 1515451 A	28-07-2004
		DE 60110853 T2	17-11-2005
		EP 1129932 A2	05-09-2001
		ES 2241698 T3	01-11-2005
		JP 4369589 B2	25-11-2009
		JP 2001239982 A	04-09-2001
		TW 550205 B	01-09-2003

DE 102013004886 A1	10-10-2013	CN 103359251 A	23-10-2013
		DE 102013004886 A1	10-10-2013
		JP 5276735 B1	28-08-2013
		JP 2013216176 A	24-10-2013
		TW 201341260 A	16-10-2013
		US 2013267376 A1	10-10-2013

EP 2604499 A1	19-06-2013	CN 103158829 A	19-06-2013
		EP 2604499 A1	19-06-2013
		ES 2567274 T3	21-04-2016
		JP 2013121797 A	20-06-2013
		TW 201341261 A	16-10-2013

DE 102012107938 A1	28-02-2013	CN 102963484 A	13-03-2013
		DE 102012107938 A1	28-02-2013
		JP 5247863 B2	24-07-2013
		JP 2013047083 A	07-03-2013
		TW 201332832 A	16-08-2013
		US 2013054066 A1	28-02-2013

EP 1236640 A2	04-09-2002	AT 377554 T	15-11-2007
		CN 1373057 A	09-10-2002
		DE 60223307 T2	21-02-2008
		EP 1236640 A2	04-09-2002
		ES 2295248 T3	16-04-2008
		KR 20020070650 A	10-09-2002
		TW 583116 B	11-04-2004
		US 2002120382 A1	29-08-2002

EP 2862788 A1	22-04-2015	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102010028658 A1 [0002]